



Progetto di sviluppo concessione "Colle Santo"
Procedura di Valutazione di Impatto Ambientale

Integrazioni
richieste con nota DVA prot. 22746 del 4/10/2017

ALLEGATO F

*Predisposizione di una rete di monitoraggio microsismico
nell'area del giacimento di Colle Santo*

Novembre 2017



CAMPO DI
COLLE SANTO

**Predisposizione di una
rete di monitoraggio
microsisimico (punto 23)**

Novembre 2017



SOMMARIO

1	INTRODUZIONE.....	2
2	MONITORAGGIO MICROSISMICO	4
2.1	SCOPO DEL MONITORAGGIO	4
2.2	VOLUMI DI RILEVAZIONE	4
3	RETE MONITORAGGIO MICROSISMICO.....	7
3.1	INTRODUZIONE	7
3.2	CRITERI PER LA VALUTAZIONE DEL RUMORE AMBIENTALE.....	8
3.3	PROCEDURA PER L'ESECUZIONE DI SIMULAZIONI NUMERICHE	9
3.4	PROPOSTA DI INTEGRAZIONE DELL'ESISTENTE PIANO DI MONITORAGGIO E CALIBRAZIONE	10
4	STRUMENTAZIONE	15
5	CONCLUSIONI	16
6	BIBLIOGRAFIA.....	17

1 INTRODUZIONE

Il campo di Colle Santo è situato nella regione Abruzzo e ricade nel Permesso di Ricerca "Monte Pallano" (fig. 1.1). L'estensione dell'area del Permesso di Ricerca include i comuni di Bomba e Pennadomo. Il giacimento è stato scoperto dalla società Agip attraverso la perforazione del pozzo Bomba 1 nel 1966. Negli anni successivi sono stati perforati altri 3 pozzi (Bomba 2, Bomba 3 e Bomba 7) che hanno confermato la mineralizzazione a gas del giacimento. Il campo non è mai stato messo in produzione e tutti i pozzi sono stati chiusi e abbandonati minerariamente. Nella seconda parte del 2007 la società Forest CMI S.p.A. ha ripreso il progetto perforando e testando due pozzi direzionati di *appraisal*, Monte Pallano 1dir (MP 1dir) e Monte Pallano 2dir (MP 2dir). CMI Energia SpA, subentrata nel 2015 alla società Forest CMI SpA, ha in programma di mettere in produzione il giacimento di Colle Santo con un nuovo progetto di sviluppo.

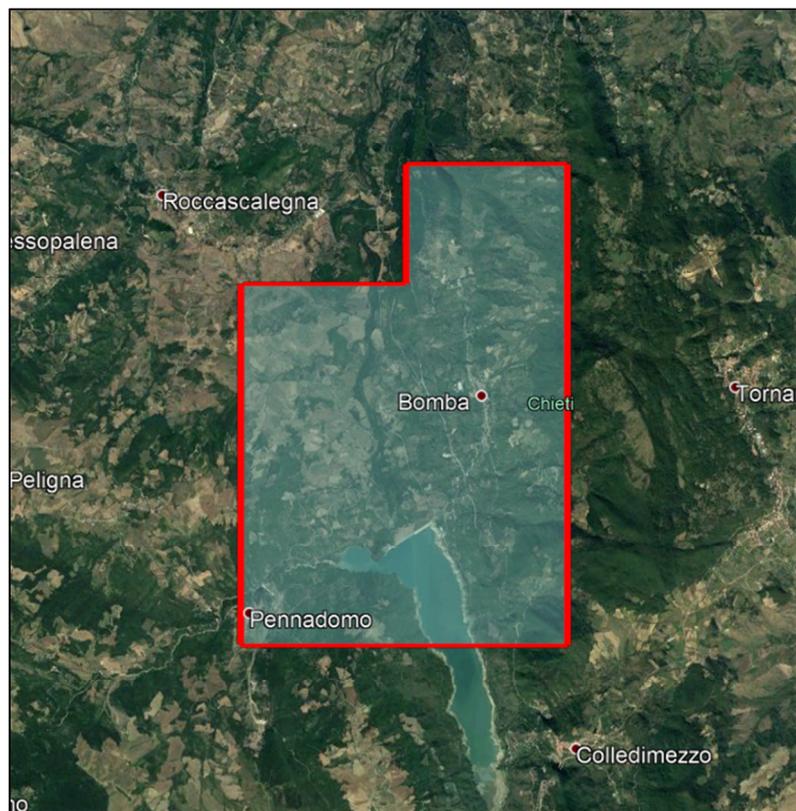


Fig. 1.1 – Ubicazione del Permesso di Ricerca "Monte Pallano" (linea rossa) comprendente il giacimento di Colle Santo.

Il giacimento è costituito da una trappola strutturale di tipo anticlinale fagliata verso ovest. Il culmine della struttura è localizzato ad una profondità di circa 1000 m TVDss. La zona circostante al campo è caratterizzata da discontinuità tettoniche che coinvolgono sia le formazioni sottostanti che quelle sovrastanti il giacimento, fino alla successione alloctona in sovrascorrimento sui depositi pliocenici. Dal punto di vista litostratigrafico il *reservoir*

rappresenta un intervallo carbonatico di età Cretaceo superiore-Miocene medio-superiore riferibile alla successione indifferenziata di avampaese Apulo (Cretaceo superiore) e alla Formazione Bolognano (Serravalliano-Tortoniano). La roccia di copertura del giacimento (*cap rock*) è costituita da un intervallo di calcare argilloso-marnoso appartenente alla Formazione Bolognano (DREAM, 2012).

Il presente rapporto, redatto da DREAM s.r.l., descrive uno studio di prefattibilità per la predisposizione di una rete di monitoraggio microsismico nell'are del giacimento di Colle Santo alla luce delle linee guida del Ministero dello Sviluppo Economico (MISE-DGS-UNMIG, 2014) e dell'esistente piano di monitoraggio (AceaElectrabel, 2010) già approvato dal Ministero delle Infrastrutture (Prot. 0013981-21/12/2010). In particolare, lo studio tratta i seguenti punti:

- Valutazione del numero e della posizione delle stazioni di superficie esistenti appartenenti alla rete nazionale, regionale e locale.
- Individuazione di aree per la possibile ubicazione di stazioni di superficie aggiuntive sulla base delle linee guida fornite dal MISE e dell'esistente piano di monitoraggio.
- Ottimizzazione delle aree per la possibile ubicazione di stazioni di superficie aggiuntive sulla base della distanza da eventuali faglie attive, sorgenti di rumore antropogenico, accessibilità alle reti elettrica e stradale.
- Valutazione dell'installazione di geofoni anche in pozzo nell'eventualità che la copertura fornita dalla rete di superficie non sia sufficiente.

Inoltre vengono presentate, ad integrazione dello studio, le seguenti indicazioni:

- Criteri per l'individuazione delle caratteristiche delle eventuali sorgenti sismiche.
- Suggestioni per l'individuazione dei livelli di soglia del rumore allo scopo di poter determinare la minima magnitudo degli eventi localizzabili.
- Procedura tipo per l'esecuzione di simulazioni numeriche con dati sintetici al fine di stimare l'ampiezza dell'onda sismica attesa ai punti di misura.

2 MONITORAGGIO MICROSISMICO

2.1 Scopo del monitoraggio

Secondo le linee guida del Ministero dello Sviluppo Economico (MISE) con il termine “**monitoraggio microsismico**” si intendono tutte le attività volte a: *“individuare e localizzare la sismicità in un volume circostante il luogo delle attività antropiche, anche con l’obiettivo di distinguere la sismicità naturale da quella eventualmente causata da tali attività. Il monitoraggio deve consentire di seguire l’evoluzione spazio-tempo-magnitudo della sismicità al fine, ove occorra, di rimodulare o, nei casi previsti, di sospendere le attività stesse”* (MISE-DGS-UNMIG, 2014).

Durante la fase di monitoraggio sismico si determinano i principali parametri degli eventi sismici (tempo di origine, coordinate geografiche dell’epicentro, profondità, magnitudo, e relative incertezze) all’interno di un volume di rilevazione. I dati acquisiti da reti locali (con distanza tra i sismometri/geofoni che può variare da poche centinaia di metri ad alcuni chilometri) sono caratterizzati da una elevata rilevabilità (eventi con magnitudo molto bassa) e alta precisione nella determinazione dei parametri principali. La continua acquisizione e interpretazione di eventi sismici permette la produzione di mappe di epicentri in grado di evidenziare possibili concentrazioni di sismi in una specifica area geografica, di sezioni verticali per individuare la profondità degli eventi stessi, e di grafici di vario tipo che permettono di analizzare la variazione della magnitudo con il tempo oppure di correlare il numero di eventi con parametri specifici legati, ad esempio, alle attività antropiche. Tramite lo studio e l’elaborazione di questi dati, è potenzialmente possibile effettuare una distinzione tra eventi naturali ed eventi legati ad attività antropiche.

2.2 Volumi di rilevazione

La geometria della rete microsismica deve garantire un’adeguata copertura e un’alta qualità di monitoraggio sismico del volume di roccia di interesse. Nel caso del campo di Colle Santo l’attività antropica è rappresentata specificamente dalla futura attività di estrazione del gas dal giacimento e per questo motivo si è fatto riferimento nel presente studio al documento “INDIRIZZI E LINEE GUIDA PER IL MONITORAGGIO DELLA SISMICITÀ, DELLE DEFORMAZIONI DEL SUOLO E DELLE PRESSIONI DI PORO NELL’AMBITO DELLE ATTIVITÀ ANTROPICHE (24/11/2014)” pubblicato dal MISE (MISE-DGS-UNMIG, 2014).

Le indicazioni contenute nel capitolo 5 del documento sopracitato suggeriscono che è necessario definire preventivamente i volumi interessati dal monitoraggio sismico intorno al giacimento. In particolare, si definisce un **Dominio interno di rilevazione (DI)** che rappresenta il volume intorno al giacimento all’interno del quale possono verificarsi fenomeni di sismicità indotta o di deformazione del suolo associati all’attività svolta. Esso

rappresenta perciò il volume di riferimento in cui devono essere monitorati e analizzati con la massima sensibilità i fenomeni di sismicità (MISE-DGS-UNMIG, 2014).

Il Dominio interno di rilevazione si estende dalla zona mineralizzata (giacimento), così come ricostruita dallo studio geologico preliminare, fino alla superficie terrestre e si definisce una ulteriore fascia che si estende ai lati e al di sotto del giacimento fino ad una distanza variabile in funzione della tipologia di attività antropica:

- estrazione di olio/gas – 3 km
- estrazione di olio/gas con re-iniezione di fluidi – 5 km
- stoccaggio di gas naturale – 2-3 km
- re-iniezione di fluidi all'esterno del giacimento – 8 km

Sulla base di tali indicazioni è stata pertanto selezionata per il giacimento di Colle Santo una fascia di estensione del DI pari a 3 km (estrazione di olio/gas da giacimenti senza re-iniezione di fluidi).

Si definisce inoltre un ***Dominio esteso di rilevazione (DE)*** che rappresenta il volume circostante il dominio interno di rilevazione e che comprende una porzione maggiore di crosta terrestre, al fine di definire e contestualizzare al meglio i fenomeni monitorati. Per tutte le attività legate all'estrazione di idrocarburi si suggerisce che tale volume si estenda oltre il dominio interno di rilevazione per una fascia di ampiezza compresa tra 5-10 km, tenendo conto delle dimensioni del giacimento e della tipologia di attività (MISE-DGS-UNMIG, 2014).

Considerate le dimensioni del giacimento di Colle Santo si è ritenuto opportuno considerare una fascia di dimensione pari a 5 km per la definizione del Dominio esteso di rilevazione.

Nel caso specifico del giacimento di Colle Santo il Dominio interno (DI) di rilevazione ha dimensioni areali pari a circa 93 km² e verticalmente si estende dalla superficie fino a 4 km di profondità, mentre il volume del Dominio esteso (DE) ha dimensioni areali pari a circa 340 km² e verticalmente si estende dalla superficie fino a 9 km di profondità. Nella figura 2.1 vengono rappresentate le dimensioni areale e verticale dei domini DI e DE per il giacimento di Colle Santo.

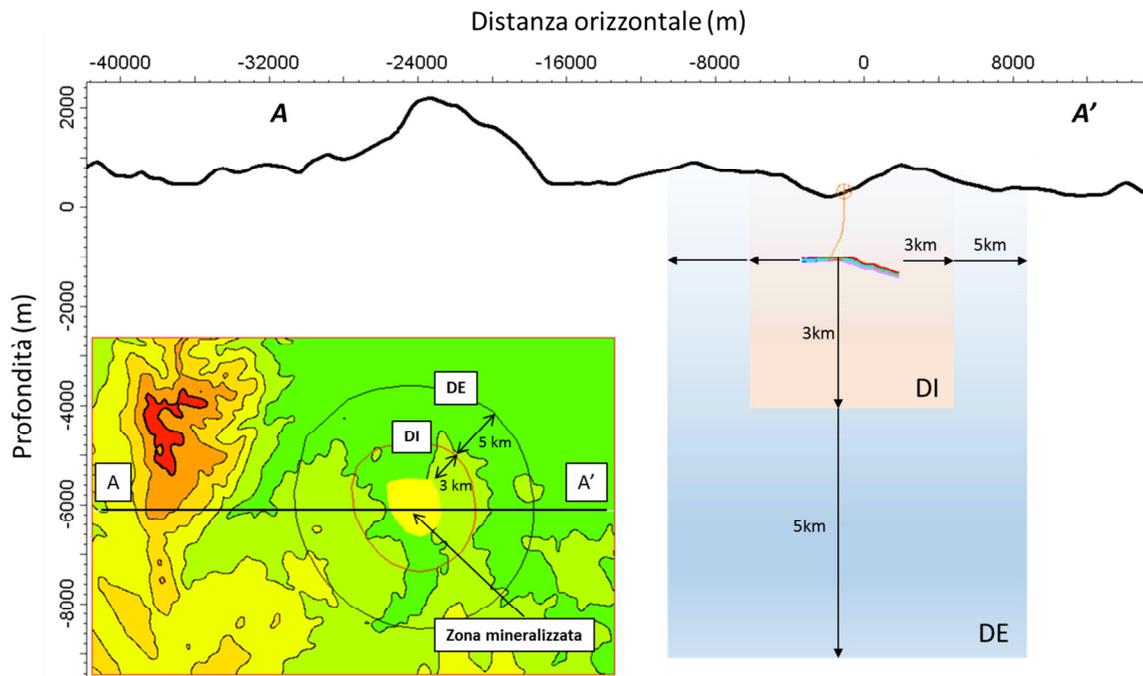


Fig. 2.1 – Mappa e sezione della zona circostante il giacimento di Colle Santo con l'indicazione della dimensione areale e verticale del Dominio interno (DI) e del Dominio esteso (DE) di rilevazione.

3 RETE MONITORAGGIO MICROSISMICO

3.1 Introduzione

La società Forest CMI S.p.A. nel 2010 ha presentato una proposta di piano di monitoraggio (comprendente la microsismicità), già approvata dal Ministero delle Infrastrutture – DG Dighe ed Acea il 21/12/2010 che prevede l'installazione di 8 stazioni microsismiche nell'area del giacimento (figura 3.1).

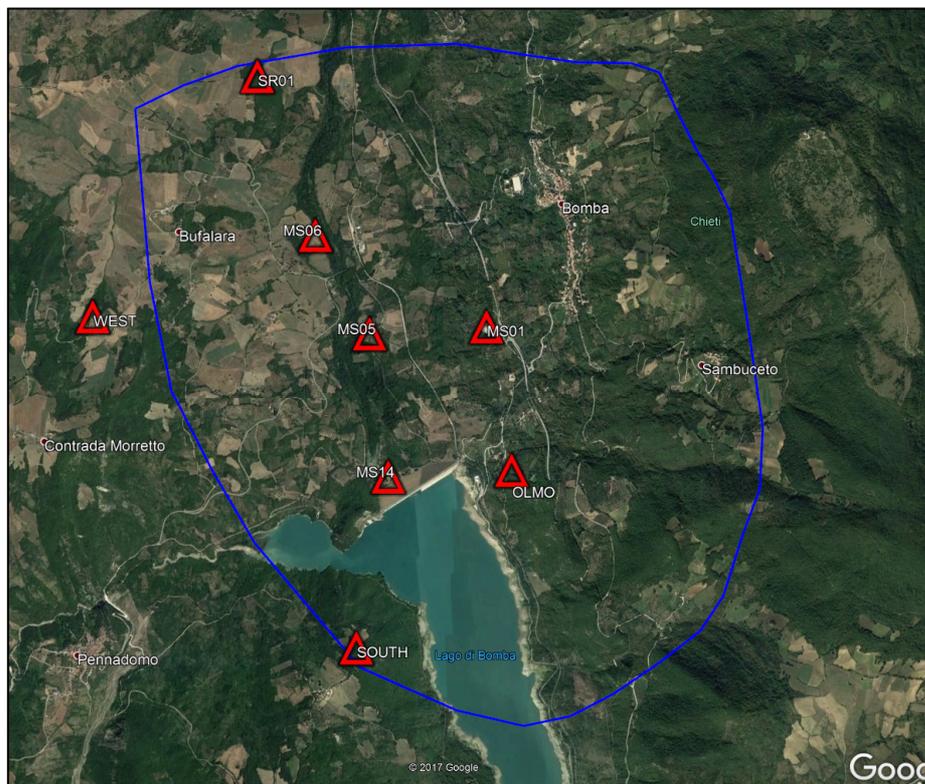


Fig. 3.1 – Mappa con le ubicazioni delle stazioni di monitoraggio della rete microsismica del giacimento di Colle Santo, secondo l'esistente piano di monitoraggio proposto da Forest CMI S.p.A. e approvato dal Ministero delle Infrastrutture – DG Dighe ed Acea. La linea blu identifica indicativamente l'estensione del giacimento nel sottosuolo.

Secondo le linee guida del MISE una rete di monitoraggio microsismico deve soddisfare i seguenti requisiti (MISE-DGS-UNMIG, 2014):

1. deve poter rilevare e localizzare i terremoti a partire da magnitudo locale (M_L) compresa tra 0 e 1 ($0 \leq M_L \leq 1$) e con incertezza nella localizzazione dell'ipocentro inferiore ad alcune centinaia di metri;
2. all'interno del dominio esteso (DE) di rilevazione, deve migliorare di circa 1 unità il livello di magnitudo di completezza (M_C) delle rilevazioni effettuate dalle reti nazionali o regionali che svolgono servizio di monitoraggio sismico per finalità di

protezione civile, con incertezza nella localizzazione dell'ipocentro contenuta entro circa 1 km;

3. deve determinare l'accelerazione e la velocità del moto del suolo provocate da eventuali terremoti (deboli e forti) presso i punti di misurazione;
4. deve integrarsi opportunamente con le reti di monitoraggio esistenti (rete nazionale, reti regionali e ulteriori eventuali reti locali) al fine di migliorare l'accuratezza e la completezza della rilevazione della sismicità.

L'esistente proposta di piano di monitoraggio offre una adeguata copertura della zona mineralizzata del giacimento di Colle Santo. Infatti, cinque (5) delle stazioni previste (MS01, MS05, MS06, MS14, OLMO) si trovano al di sopra della zona mineralizzata, mentre le stazioni SR1, WEST e SOUTH si trovano in punti periferici ma comunque limitrofi alla zona del giacimento. In particolare, la posizione della stazione MS01 è stata prevista in corrispondenza della piazzola di perforazione dei pozzi Monte Pallano 1dir e Monte Pallano 2dir.

Nel presente studio, partendo dall'esistente piano di monitoraggio e dalla posizione delle 8 stazioni previste, è stata effettuata una valutazione volta ad integrare tale rete con ulteriori punti di rilevamento, in modo da massimizzare l'accuratezza e la completezza delle acquisizioni.

Una corretta valutazione delle posizioni ottimali delle stazioni appartenenti ad una rete di monitoraggio microsismico prevede un'analisi preliminare del rumore sismico ambientale. Successivamente, tramite simulazioni matematiche di onde sismiche che provengono da sorgenti sintetiche diverse (posizione, magnitudo etc.), è possibile calcolare le capacità di rilevazione delle varie stazioni in funzione di diverse geometrie della rete di monitoraggio.

3.2 Criteri per la valutazione del rumore ambientale

La valutazione del rumore sismico ambientale avviene attraverso l'analisi della densità dello spettro di potenza (PSD) del segnale (e.g. Vassalo et al., 2012). Durante la fase di progettazione di una rete di monitoraggio questo tipo di analisi viene ripetuto spostando la stazione di rilevazione in vari punti del dominio interno (DI). I risultati ottenuti vengono poi confrontati con le curve di riferimento NHNM (*New High Noise Model*) e NLNM (*New Low Noise Model*) proposte da Peterson (1993), che ha utilizzato dati relativi al microtremore sismico rilevati da 75 stazioni installate in diverse parti del mondo.

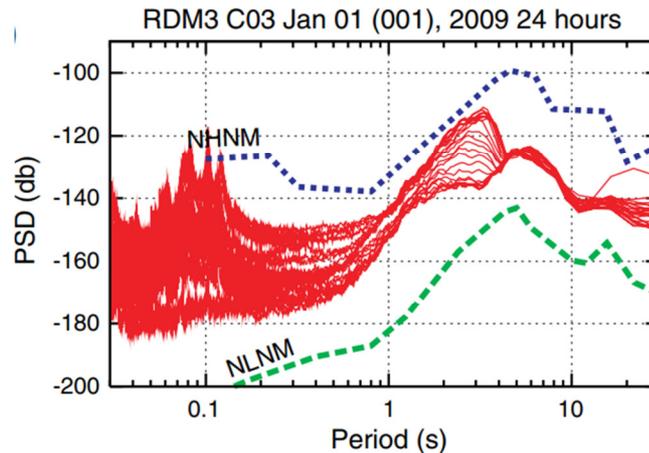


Fig. 3.2 Esempio della distribuzione di probabilità (PDF) della densità di spettro di potenza (PSD) per la stazione RDM3 (Vassalo et al., 2012). Le due linee (blu e verde tratteggiata) corrispondono ai livelli NHNM e NLNM proposti da Peterson (1993).

Per avere risultati rappresentativi la stazione deve rimanere alcuni giorni nella stessa posizione in modo da registrare anche rumori di fondo con periodicità giornaliera o settimanale oppure, semplicemente, variazioni del livello di rumore tra il giorno e la notte. La procedura viene ripetuta anche in altre posizioni all'interno del dominio interno (DI) in modo da analizzare e confrontare le registrazioni. In questo modo è possibile identificare zone con livello di rumore molto elevato (che dovrebbero essere escluse dalla progettazione della rete) e identificare zone con basso rumore sismico ambientale che rappresentano le posizioni ottimali per l'installazione di strumenti di registrazione.

3.3 Procedura per l'esecuzione di simulazioni numeriche

Per valutare il livello di rilevabilità della rete di monitoraggio è consigliabile adottare un approccio basato sulla simulazione di terremoti sintetici. I risultati delle simulazioni vengono confrontati con quelli provenienti dall'analisi del rumore in modo da identificare una soglia minima di magnitudo oltre la quale un terremoto può essere rilevato e/o localizzato con l'esistente geometria della rete di monitoraggio.

Per poter ottenere risultati attendibili attraverso le simulazioni, è necessaria la calibrazione di alcuni parametri delle equazioni teoriche utilizzando le registrazioni di eventi sismici reali rilevati all'interno o nelle vicinanze del dominio interno (DI). Se ciò non risulta possibile durante il periodo delle registrazioni del rumore sismico ambientale, si può eventualmente utilizzare una stazione della rete di monitoraggio sismico nazionale che abbia registrato eventi sismici nelle vicinanze del giacimento. Lo scopo è di confrontare gli eventi simulati (teorici) con quelli registrati allo scopo di minimizzare la differenza tra i livelli dello spettro di Fourier simulato e registrato, calibrando i parametri delle equazioni relativi alle specifiche condizioni geologiche del sito di registrazione e alla propagazione e attenuazione delle onde sismiche. Le formule una volta calibrate possono essere utilizzate per simulare eventi sismici teorici in vari punti nelle vicinanze del giacimento.

Considerando che i terremoti simulati sono caratterizzati da magnitudo bassa, l'approccio consigliato prevede l'utilizzo di modelli a sorgente puntiforme. A titolo di esempio, il modello di Brune (1970, 1971) viene utilizzato per il calcolo dell'ampiezza dello spettro di Fourier delle onde S registrate ad una distanza R dal punto di emissione. I modelli a sorgente puntiforme sono indipendenti della direttività e dalle dimensioni del piano di faglia mentre dipendono dal momento sismico M_0 , relativo alla magnitudo, e dalla frequenza d'angolo f_c . L'attenuazione delle onde sismiche viene simulata con un termine moltiplicativo, dipendente dalla frequenza e dalla distanza, allo scopo di rappresentare gli effetti di diffusione geometrica, di attenuazione anelastica e di dispersione. Su brevi distanze la diffusione geometrica è inversamente proporzionale alla distanza (R^{-1}). L'attenuazione anelastica può essere descritta dal parametro Q_0 (fattore di qualità; Lay and Wallace, 1995) e dal parametro k (Anderson and Hough, 1984). L'ampiezza dello spettro di velocità per le onde S si calcola con la formula:

$$V(f) = \frac{C \cdot M_0}{R} \cdot \frac{2\pi f}{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^2} \cdot \exp\left(\frac{-\pi R}{\beta Q_0}\right) \cdot \exp(-k\pi f)$$

Dove:

β è la velocità delle onde S,

$$C = F_s \cdot R_{\theta\omega} / 4\pi\rho\beta^3,$$

F_s , $R_{\theta\omega}$, e ρ rappresentano rispettivamente l'amplificazione della superficie libera, il fattore di forma della radiazione e la densità.

Il valore del momento sismico M_0 si può calcolare da relazioni esistenti in funzione della magnitudo locale. I valori di Q_0 , ρ , β possono essere stimati da modelli di velocità e densità dell'area del dominio interno oppure da letteratura. Il parametro k è fondamentale per il decadimento spettrale delle frequenze oltre la frequenza d'angolo (f_c). Pertanto, valutazioni attendibili di questo parametro sono necessarie per arrivare a valori realistici della rilevabilità della rete di monitoraggio. Il valore di k può essere stimato da simulazioni dello spettro di Fourier di accelerogrammi di terremoti registrati nella zona del giacimento, oppure essere desunto da dati di letteratura, essendo un parametro legato alle condizioni geologiche del sito in cui è posizionato lo strumento di registrazione (*local site conditions*).

3.4 Proposta di integrazione dell'esistente piano di monitoraggio e calibrazione

La qualità e l'accuratezza nella rilevabilità e nella registrazione di eventi sismici sono legate a vari fattori come il rumore sismico ambientale, la geometria delle stazioni, i modelli di velocità utilizzati negli algoritmi di localizzazione, etc. In particolare, i modelli di velocità impiegati sono fondamentali nel determinare la precisione durante la fase di localizzazione di eventi sismici.

Per la zona dell'Appennino centrale sono stati pubblicati diversi modelli di velocità (e.g., Chiarabba e Amato, 1996; Chiarabba e Frepoli, 1997) che possono essere utilizzati come punto di partenza per la localizzazione di eventi microsismici. Un'alternativa impiegabile almeno in fase preliminare può essere rappresentata anche da un modello 1D derivante dall'analisi dei log acustici (*Sonic Log*) eventualmente acquisiti ai pozzi nella zona di giacimento.

Le linee guida MISE-DGS-UNMIG (2014) suggeriscono che nell'area superficiale del dominio interno (DI) di rilevazione le stazioni installate devono avere inter-distanze comprese fra 3-5 km in modo da poter consentire la localizzazione di eventi di magnitudo $0 \leq M_L \leq 1$. Con la configurazione della rete attualmente prevista (fig. 3.1) l'inter-distanza tra le stazioni sismiche di monitoraggio è di circa 1 km (alta densità), consentendo un livello di ridondanza nella rilevazione rispetto ai requisiti richiesti.

L'eventuale integrazione di 3-4 stazioni alla rete di monitoraggio prevista può ulteriormente aumentare la sua capacità di rilevazione di eventi anche a bassissima intensità (eventi microsismici).

Allo scopo di individuare zone geografiche idonee per l'installazione di stazioni aggiuntive devono essere considerati alcuni criteri fondamentali quali le condizioni geologiche del sito di installazione, la distanza da sorgenti di rumore legate ad attività antropica, l'accessibilità, la possibilità di trasmettere dati, la presenza di una fornitura di energia elettrica, le condizioni climatiche, etc. Alcuni di questi criteri possono essere valutati solamente dopo sopralluoghi ed esperimenti dedicati *in situ*, valutando le specifiche condizioni geologiche e/o di accessibilità alle diverse località.

In questa relazione si identificano, ad integrazione del piano di monitoraggio previsto, aree che macroscopicamente risultano idonee per il posizionamento di stazioni aggiuntive di rilevazione della sismicità.

I principali criteri che hanno indirizzato la scelta delle aree sono: (1) la presenza di stazioni sismiche già esistenti appartenenti alla rete nazionale e (2) l'accessibilità e la distanza da sorgenti di rumore di fondo. A questo proposito, in letteratura sono presenti indicazioni circa le distanze minime consentite da diverse fonti di rumore antropico (Tab. 3.1).

Per la definizione delle aree idonee per l'installazione di stazioni aggiuntive alla rete esistente è stata considerata prima di tutto la posizione delle stazioni appartenenti alla rete sismografica nazionale. In figura 3.3 si riporta la loro configurazione intorno alla zona del giacimento di Colle Santo. La distanza delle stazioni della rete nazionale dalla zona di giacimento è piuttosto elevata. La stazione più vicina si trova a circa 10 km dal giacimento mentre tutte le altre stazioni sono ubicate a distanze superiori ai 25 km. Considerando che il requisito richiesto per la rilevazione degli eventi sismici è molto stringente (eventi con magnitudo $0 \leq M_L \leq 1$), stazioni con inter-distanza maggiore di 3-5 km non contribuiscono in modo significativo alla rilevazione di eventi microsismici. L'unica eccezione è costituita dalla stazione LPEL che si trova ad ovest del giacimento e che, potenzialmente, può essere integrata nelle simulazioni di rilevabilità della rete locale. Nella figura 3.4 si presenta una

categorizzazione delle zone circostanti il giacimento discriminando quelle favorevoli e quelle non favorevoli per l'installazione di nuove stazioni di monitoraggio.

Tab. 3.1 Distanze minime consentite tra sorgente di rumore e stazione di registrazione (Willmore, 1979). Esempio per la stazione sismica di Loma Palo Bonito. (Trnkoczy et al., 2011).

STATION SITE NAME: Loma Palo Bonito COORDINATES: N 18° 46' 58.4" W 70° 13' 20.1"		SITE #:7			DATE OF VISIT: 02/14/1998			ACTUAL DISTANCE [km]
		HARD ROCK GRANITE, ETC.			HARDPAN HARD CLAY, ETC.			
		RECOMMENDED MINIMAL DISTANCES [KM]						
		A	B	C	A	B	C	
1. Oceans, coastal mountains systems		300	50	1	300	50	1	75
2. Large lakes		150	25	1	150	25	1	22
3. Large dams, waterfalls	a	40	10	1	150	25	5	22
	b	60	15	5	50	15	10	
4. Large oil pipelines	a	20	10	5	30	15	5	
	b	100	30	10	100	30	10	
5. Small lakes	a	20	10	1	20	10	1	20
	b	50	15	1	50	15	1	
6. Heavy machinery, reciprocating machinery	a	15	3	1	20	5	2	25
	b	25	5	2	40	15	3	
7. Low waterfalls, rapids of a large river, intermittent flow over large dams	a	5	2	0.1	15	5	1	
	b	15	3	1	25	8	2	6
8. Railway, frequent operation	a	6	3	1	10	5	1	40
	b	15	5	1	20	10	1	
9. Airport, air traffic		6	3	1	6	3	1	
10. Non-reciprocating machinery, balanced industrial machinery	a	2	0.5	0.1	10	4	1	25
	b	4	1	0.2	15	6	1	
11. Busy highway, large farms		1	0.3	0.1	6	1	0.5	2.3
12. Country roads, high buildings		0.3	0.2	0.05	2	1	0.5	2.0
13. Low buildings, high trees and masts		0.1	0.03	0.01	0.1	0.1	0.05	0.03
14. High fences, low trees, high bushes, large rocks		0.05	0.02	0.005	0.06	0.03	0.01	0.02

Legend:

A - Seismic station with a gain of 200,000 or more at 1 Hz
 B - Seismic station with a gain from 50,000 to 150,000 at 1 Hz
 C - Seismic station with a gain of approximately 25,000 at 1 Hz
 a - Source and seismometer on widely different formations or that mountain ranges or valleys intervene
 b - Source and seismometer on the same formation and with no intervening alluvial valley or mountain ranges

La scelta delle aree favorevoli per l'installazione di stazioni aggiuntive è stata effettuata prendendo in considerazione diversi criteri:

- lontananza da centri abitati e strade principali;
- copertura azimutale dell'area del giacimento;
- miglior monitoraggio della faglia che delimita il giacimento verso ovest (dove sono previste anche variazioni di pressione durante la fase di produzione)
- vicinanza a strade minori con basso livello di circolazione e possibilità di accesso ad aree dotate di servizi (rete telefonica, elettricità, etc.)

Le zone di colore rosso sono state specificamente escluse perché al loro interno sono ubicati centri abitati importanti e strade di collegamento principali dove è prevista un'elevata circolazione di mezzi durante il giorno.

L'ubicazione precisa delle stazioni di monitoraggio aggiuntive viene rimandata alla fase esecutiva del progetto, a fronte di sopralluoghi ed esperimenti dedicati che verranno condotti dall'installatore degli strumenti stessi.

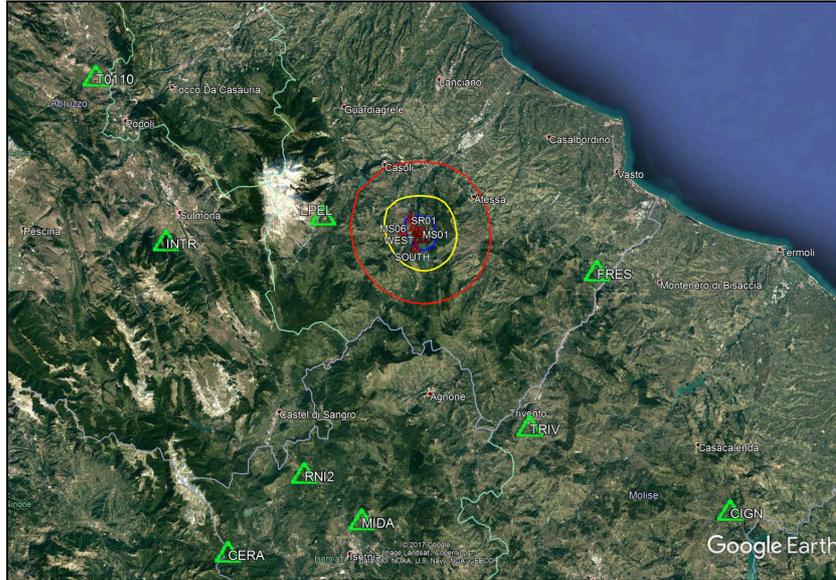


Fig. 3.3 Mappa delle stazioni di monitoraggio microsismico già previste nel piano di monitoraggio esistente (triangoli rossi) e delle stazioni appartenenti alla rete nazionale (triangoli verdi) in un raggio di 50 km dal giacimento di Colle Santo. Il cerchio giallo corrisponde all'estensione del dominio interno (DI) di rilevazione mentre il cerchio rosso individua l'estensione del dominio esteso (DE).

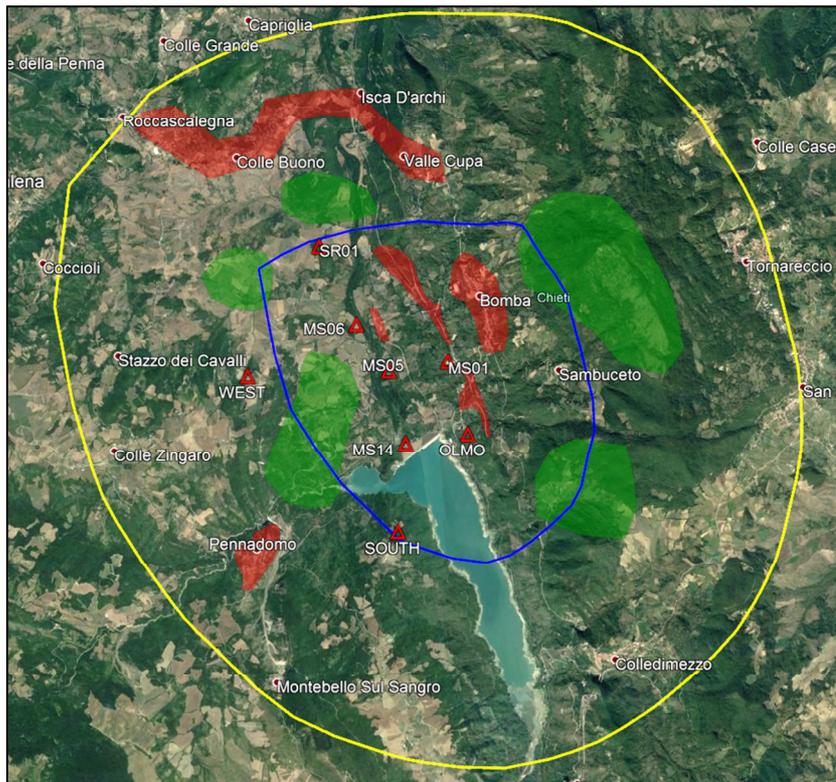


Fig. 3.4 Mappa con l'indicazione delle zone favorevoli (verdi) e non favorevoli (rosse) per l'installazione di stazioni di monitoraggio aggiuntive. Il cerchio blu corrisponde approssimativamente all'estensione del giacimento mentre il cerchio giallo individua l'estensione del dominio interno (DI).

La valutazione finale della geometria della rete è tipicamente influenzata anche dal risultato delle simulazioni numeriche atte a definire il livello di rilevabilità della rete stessa utilizzando sorgenti di varia magnitudo a distanza variabile dalla zona del giacimento.

Con la formula presentata nel par. 3.3 è possibile calcolare l'ampiezza dello spettro di Fourier delle onde S e definire il minimo rapporto tra l'ampiezza massima dello spettro di potenza del terremoto e il valore medio del PSD del rumore. La minima magnitudo di un evento rilevabile da una stazione di monitoraggio specifica definisce la minima magnitudo di rilevabilità. La magnitudo minima che permette la localizzazione di un evento, registrato da almeno 3 stazioni, si definisce come magnitudo minima di localizzazione.

Durante le simulazioni è opportuno variare i livelli del rumore di fondo in modo da ottenere risultati più rappresentativi. Inoltre, è possibile simulare la risposta di stazioni ubicate al di sotto del piano campagna, in foro o semplicemente installate ad una profondità di alcune decine di metri dalla superficie. In questo caso i livelli di rumore sono tipicamente più bassi rispetto alle stazioni di superficie e ciò consente di aumentare considerevolmente le capacità di rilevazione della rete di monitoraggio (figura 3.5).

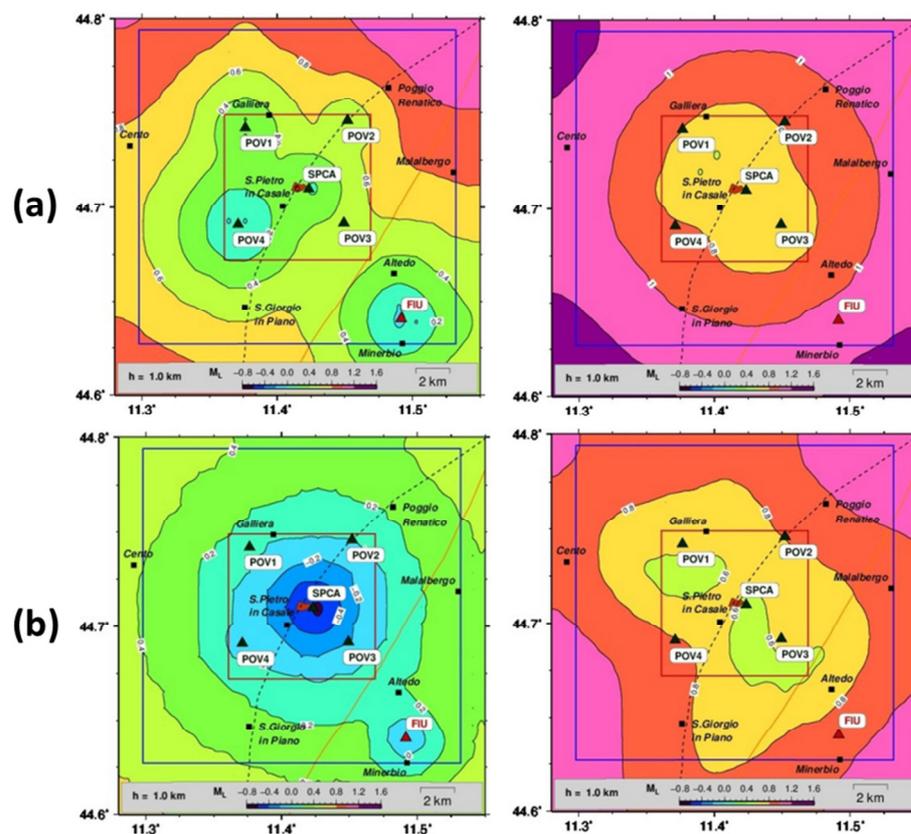


Fig. 3.5 Esempi di mappe di soglia di rilevabilità (rilevata da 1 stazione) (sinistra) e di localizzazione (rilevata da almeno 3 stazioni) (destra) per diverse configurazioni della rete di monitoraggio di una sorgente sismica ubicata alla profondità di 1 km. Nel caso (b) la rete è integrata con un geofono installato in profondità (200 m) nella posizione SPCA (modificate da Carannante et al., 2017).

Proprio per questo motivo, nel caso in cui la rete di superficie non sia sufficiente a raggiungere le prestazioni richieste si consiglia l'installazione di sensori sismici anche all'interno di pozzi, possibilmente profondi, in modo da ridurre il più possibile la distanza tra i punti di monitoraggio all'interno del DI. In questi casi si suggerisce l'adozione di stringhe di sensori (geofoni) a corto o cortissimo periodo, con numero di sensori per stringa non inferiore a 4 e frequenza di campionamento di almeno 250 Hz (MISE-DGS-UNMIG, 2014). Si fa notare che nel caso di installazione di geofoni in foro è necessaria la disponibilità di un pozzo dedicato al monitoraggio microsismico che non potrà essere impiegato per le attività di estrazione del gas.

4 STRUMENTAZIONE

Secondo le indicazioni fornite dal MISE le stazioni di monitoraggio devono avere le seguenti caratteristiche (MISE-DGS-UNMIG, 2014):

- Installazione di stazioni con sensori triassiali di corto periodo ($T < 1$ sec) ma non inferiori a $T = 0.5$ sec. Si raccomanda l'installazione di almeno un sensore a banda estesa o larga (periodo proprio $T \geq 20-40$ s, e frequenza massima di rilevazione non inferiore a 80 Hz).
- Frequenza di campionamento non inferiore a 200 Hz per i sismometri e 100 Hz per gli accelerometri. Nel caso di installazione di stazioni in foro (pozzo) la frequenza di campionamento deve essere almeno 250 Hz.
- Il segnale deve essere trasmesso in tempo "*quasi-reale*" al centro di controllo dove avviene l'archiviazione. Deve essere garantita l'integrità, la continuità e la sicurezza del dato. Le stazioni devono essere dotate di sistemi di temporizzazione con precisione GPS.
- Per l'installazione dei sensori si dovrà prevedere l'adozione di specifici accorgimenti atti a ridurre il rumore sismico ambientale. Nel caso di elevato rumore sismico di fondo, si suggerisce l'installazione di sensori sismometrici anche in profondità, in funzione della litologia e della tipologia del sensore; nel caso di suoli poco consolidati, come ad esempio quelli di pianura, si suggerisce una profondità indicativa compresa tra 100 m e 200 m.

5 CONCLUSIONI

Il presente rapporto descrive uno studio di prefattibilità per la predisposizione di una rete di monitoraggio microsismico nell'area del giacimento di Colle Santo alla luce delle linee guida del Ministero dello Sviluppo Economico (MISE-DGS-UNMIG, 2014) e dell'esistente piano di monitoraggio (AceaElectrabel, 2010) già approvato dal Ministero delle Infrastrutture (Prot. 0013981-21/12/2010).

Ad integrazione del piano di monitoraggio previsto, sono state individuate delle aree superficiali nell'area del giacimento di Colle Santo che macroscopicamente appaiono idonee per il posizionamento di stazioni aggiuntive di rilevazione della sismicità.

I criteri principali che hanno indirizzato la scelta delle aree sono la presenza di stazioni sismiche già esistenti appartenenti alla rete nazionale, l'accessibilità e la distanza da sorgenti di rumore di fondo.

Sono state specificamente escluse tutte le aree in cui sono ubicati centri abitati importanti e le zone attraversate dalle principali strade di collegamento dove è prevista un'elevata circolazione di mezzi durante il giorno.

L'ubicazione precisa delle stazioni di monitoraggio aggiuntive viene rimandata alla fase esecutiva del progetto, a fronte di sopralluoghi ed esperimenti dedicati che verranno condotti dall'installatore degli strumenti stessi.

Nella valutazione finale della geometria della rete si suggerisce infine l'esecuzione di simulazioni numeriche atte a definire il livello di rilevabilità della rete stessa utilizzando sorgenti di varia magnitudo a distanza variabile dalla zona del giacimento.

Si ritiene che l'integrazione proposta possa garantire un adeguato livello di copertura dal punto di vista del monitoraggio microsismico, consentendo di individuare e localizzare con adeguata accuratezza anche eventi di bassa intensità (microsismi) senza che le misure possano essere ostacolate e/o inficiate dalle sorgenti di rumore presenti nell'area.

6 BIBLIOGRAFIA

- AceaElectrabel (2010). Piano monitoraggio Diga di Bomba (id. 198/715)
- Anderson J.G., Hough S. (1984). A model for the shape of Fourier amplitude spectrum of acceleration at high frequencies, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 74, 1969-1994.
- Brune J.N. (1970). Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes, *J. Geophysical Res.*, 75, 4997-5009.
- Brune J.N. (1971). Correction, *J. Geophysical Res.*, 76, 5002.
- Carannante S., D'Alema E., Lovati S., Massa M., Augliera P. e G. Franceschina (2017). Feasibility study for the microseismic monitoring of the natural gas reservoir of "Sant'Alberto" (Po Plain, Italy). *Annals of Geophysics*, 60, 2, 2017, S0217; doi: 10.4401/ag-7111
- Chiarabba C., Amato A. (1996). Crustal velocity structure of the Apennines (Italy) from P-wave travel time tomography. *Annals of Geophysics*, XXXIX, 6, 1133-1148.
- Chiarabba C., Frepoli A. (1997) Minimum 1D velocity models in Central and Southern Italy: a contribution to better constrain hypocentral determinations. *Annals of Geophysics*, 40, 4, 937-954
- DREAM Srl. (2016). Campo di Colle Santo - Studio della subsidenza indotta dalla futura produzione del campo.
- Lay T., Wallace T.C. (1995). *Modern global seismology*, International Geophysics Series, 58, Academic Press, San Diego (USA), 521 pp.
- MISE-DGS-UNMIG (2014). Ministero dello Sviluppo Economico – Direzione Generale per le Risorse Minerarie ed Energetiche - Gruppo di lavoro CIRM, Indirizzi e linee guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche, Roma, 24/11/2014. http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it/unmig/agenda/upload/85_238.pdf
- Peterson, J. (1993). Observation and modeling of seismic background noise, U.S.G.S. Tech. Rept., 93-322, 1-95
- Trnkoczy A., Bormann P., Hanka W.), Holcomb G., Nigbor R. L., Shinohara M., Shiobara H. and K. Suyehiro (2011). Site Selection, Preparation and Installation of Seismic Stations (Amended version, September 2011; doi: 10.2312/GFZ.NMSOP-2_ch7)
- Vassalo M., Festa G. e A. Bobbio (2012) Seismic Ambient Noise Analysis in Southern Italy. *Bulletin of the Seismological Society of America (BSSA)*, 102, 2, 574-586.
- Willmore, P. L. (Ed.) (1979). *Manual of Seismological Observatory Practice*. World Data Center A for Solid Earth Geophysics, Report SE-20, September 1979, Boulder, Colorado, 165 pp